

23

Synergie entre imagerie optique multirate et relevés ponctuels de terrain pour le développement d'un modèle de succession végétale en forêt amazonienne

FRANCISCO GUERRA ¹, HENRI PUIG ² et NADINE DESSAY ³

¹ Centro de Procesamiento Digital de Imágenes, Instituto de Ingeniería.
Apartado 40.200, Caracas 1040-A, Venezuela; téléphone : +58 (2) 942-00-25;
télécopieur : +58 (2) 962-10-25; CÉ : guerra@teledetection.fr

² Laboratoire d'écologie terrestre, 13, Avenue du Colonel Roche, B.P. 4403,
31405 Toulouse Cedex, France; téléphone : +33 (5) 61-55-85-46;
télécopieur : +33 (5) 61-55-85-44; CÉ : puig.let@cesbio.cnes.fr

³ Laboratoire de l'ORSTOM, Maison de la Télédétection, 500, rue J.-F. Breton,
34093 Montpellier Cedex 05, France; téléphone : +33 (4) 67-54-87-07;
télécopieur : +33 (4) 67-54-87-00; CÉ : dessay@teledetection.fr

Résumé

Dans ce travail, une méthode est proposée pour essayer de comprendre les processus de succession végétale dans une région de forêt tropicale humide peu connue. La méthode consiste à caractériser les stades de succession végétale sur le plan spectral, physiologique et floristique, à partir de l'indice de végétation MSAVI (*Modified Soil Adjusted Vegetation Index*) et de données ponctuelles de terrain relevées en 1995. L'application des paramètres spectraux sur une série de trois images satellitaires (1979, 1989 et 1993) a permis la mise en évidence des processus de succession végétale sur une période de 14 ans. Les résultats montrent une légère tendance à la substitution des écosystèmes forestiers par des paysages à dominante herbacée, du fait de la réduction des temps de jachère. L'intégration des



données de terrain (physionomiques, floristiques) et satellitaires a servi à identifier les principaux traits des processus de succession végétale sur le site de Parima A. L'identification des états de succession végétale à partir d'un nombre limité de données de terrain et des images multitudes satellitaires est une approche méthodologique bien adaptée pour la caractérisation et le suivi écologique de la végétation en région de forêt tropicale humide.

1. Introduction

Les forêts tropicales représentent plus de 80 % de la biodiversité de la planète et semblent jouer un rôle non négligeable dans les équilibres climatiques planétaires (REPETO, 1990). Face à la rapide transformation de la forêt tropicale et au manque d'information sur le terrain, la télédétection, par sa vision globale, systématique et diachronique, peut apporter des réponses sur l'état de la forêt et son évolution (ACHARD *et al.*, 1996; COPPIN and BAUER, 1996). En forêt tropicale, la plupart des travaux par télédétection portent sur la cartographie des changements alors que les expériences relatives au fonctionnement écologique de la forêt tropicale sont moins nombreuses et plus récentes (FOODY and HILL, 1996; STEININGER, 1996). Notre travail a pour objectif de reconstituer la dynamique de succession végétale sur un site de forêt tropicale humide à partir de l'intégration des données physionomiques et floristiques avec des images satellitaires multitudes. On présente les méthodes mises en place pour trouver les relations entre la végétation et l'information spectrale ainsi que celles utilisées pour le suivi de la végétation. Les résultats portent sur l'interprétation de la dynamique actuelle de la végétation et la proposition d'un modèle de succession végétale.

2. Matériel et méthode

2.1. Le site d'étude et les données

Dans la région de forêt ombrophile au sud du Venezuela vivent des communautés indigènes semi-nomades, les Yanomamis. Ces populations pratiquent, en forêt, l'agriculture itinérante sur brûlis, avec un temps de jachère de 40 à 50 ans. ce qui permet à la végétation forestière de se reconstituer (LIZOT, 1980). Notre intérêt porte sur un secteur de la Sierra Parima (Parima A) où la sédentarisation de certaines communautés pourrait créer des déséquilibres entre l'exploitation de la forêt et sa reconstitution naturelle (fig. 1).

L'absence d'information de terrain sur ce site justifie l'utilisation de la télédétection multitude pour essayer de comprendre la dynamique de la succession végétale. Trois images MSS et TM de Landsat couvrant une période de 14 ans (1979-1989-1993) et prises à la fin de la courte saison sèche ont été utilisées (tab. 1). Ces images sont les seules données satellitaires optiques existantes de cette région à fort couvert nuageux. Des prétraitements radiométriques (délignage, inter-étalonnage, conversion en réflectance apparente) et géométriques (rectification) ont été appliqués sur les images afin de les rendre comparables.

Sur la figure 23-2 (voir cahier couleur), on présente les compositions colorées multitudes (1979-1989-1993) du site de Parima A. La forêt primaire, la forêt secondaire et les champs de culture apparaissent en rouge, le fourré et la savane arbustive en verdâtre et dans la gamme de bleu se trouvent la savane herbeuse et le brûlis.

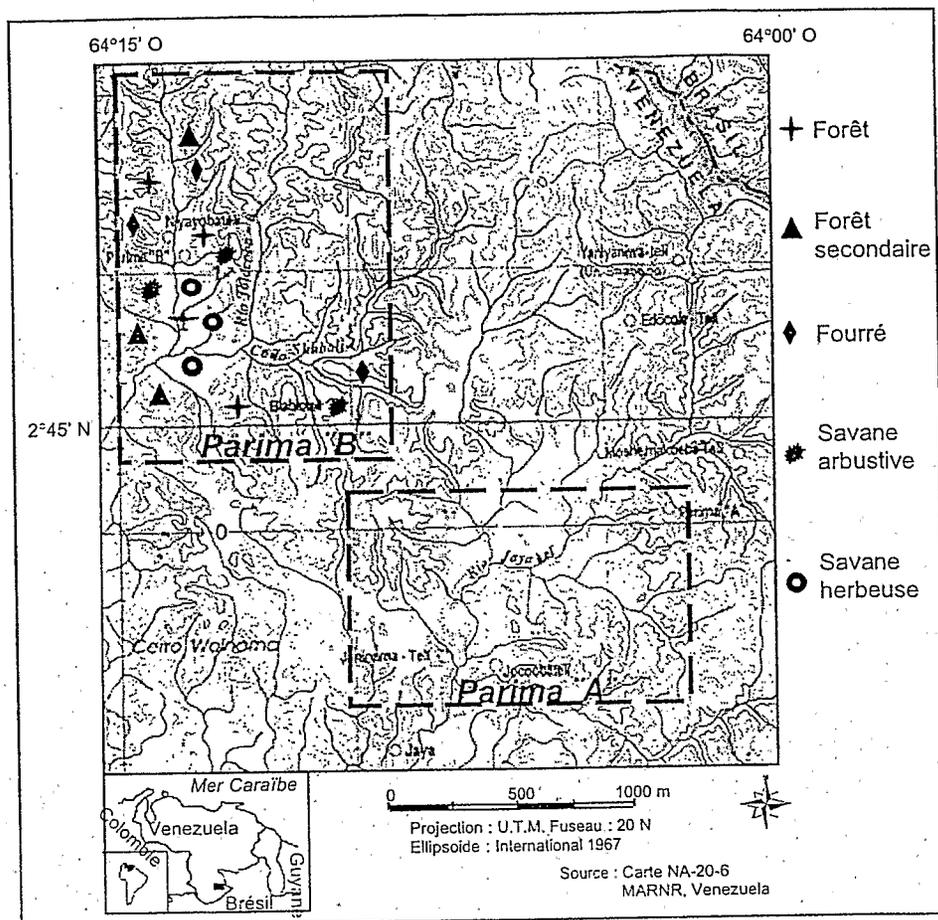


Figure 1. Localisation de la région d'étude et des sites de relevés floristiques

Tableau 1. Données de télédétection utilisées

| Date | Capteur / Satellite | Scène | Angle d'illumination solaire | Azimut |
|------------|---------------------|-------------|------------------------------|--------|
| 03-02-1979 | MSS Landsat-3 | WRS 251/058 | 42° | 240° |
| 28-02-1989 | TM Landsat-5 | WRS 001/058 | 39° | 252° |
| 07-02-1993 | TM Landsat-5 | WRS 001/058 | 42° | 241° |

2.2. Méthode

2.2.1. Collecte des données de terrain

L'absence d'aérodrome, les difficultés d'accès et les conflits entre groupes indigènes ont empêché la prise de données sur le site de Parima A. Les relevés ont été alors réalisés sur un autre site nommé Parima B, distant de 10 km, où d'après HUBER *et al.* (1984) les conditions écologiques sont semblables (fig. 1). La localisation des stations de relevés a été effectuée sur des photographies aériennes, en fonction des possibilités d'accès sur le terrain et en évitant les effets de lisière. Cinquante stations, représentatives de chaque type physiologique de végétation (forêt sempervirente, forêt secondaire, fourré, savane arbustive et savane herbeuse) ont servi à la caractérisation spectrale de la végétation. En revanche, pour des raisons logistiques la caractérisation structurale et floristique n'a été réalisée qu'à partir de quinze stations (trois par type physiologique de la végétation). En général, la taille des stations est de 400 m² et tous les individus, quelle que soit leur taille, ont été considérés.

2.2.2. Relations végétation et information spectrale

On a cherché à évaluer la possibilité d'identifier les types physiologiques de la végétation à partir de données de télédétection. Les signatures spectrales de la végétation ont été établies en calculant l'indice MSAVI (*Modified Soil Adjusted Vegetation Index*) (QI *et al.*, 1994) à partir des fenêtres de (3x3) pixels sur l'image de 1993 pour chacun des sites visités en 1995. L'indice MSAVI a été choisi d'après BANNARI *et al.* (1996) car il est peu perturbé par les variations de couleur et d'humidité du sol. De plus, cet indice est peu saturé pour des taux de recouvrement végétal élevés (QI *et al.*, 1994), ce qui le rend particulièrement adapté à l'étude de la végétation tropicale dense.

Nous avons essayé d'identifier les aspects de la végétation qui influencent la valeur du MSAVI. Sur la figure 3, on présente la variation du pourcentage de recouvrement et du MSAVI en fonction du type de végétation, ordonné par ordre de recouvrement ligneux. Pour la savane herbeuse, la savane arbustive et le fourré, on observe que le MSAVI augmente avec le recouvrement ligneux. En revanche, le MSAVI est plus faible en forêt qu'en forêt secondaire. Ceci s'explique par l'abondance d'essences à grandes feuilles disposées horizontalement (*Cecropia sp.*) qui fait augmenter le signal en forêt secondaire. Nous n'avons pas réalisé des mesures sur le terrain mais sur les images, on constate que la réponse spectrale des champs en culture est semblable à celle de la forêt secondaire. Sur la figure 3, on montre aussi qu'il n'y pas de relation évidente entre le taux de recouvrement total et le MSAVI.

2.2.3. Spatialisation des transformations de la végétation

Les variations des valeurs du MSAVI entre 1979, 1989 et 1993 ont été associées aux transformations de la végétation. À partir des images de différence, calculées par paire de dates, on a utilisé la valeur moyenne ± 1 écart-type pour séparer les zones stables de celles qui ont subi des changements.

Sur la figure 23-4 (voir cahier couleur), on montre la spatialisation des transformations de la végétation obtenue par classification non dirigée, dans un espace vectoriel à trois dimensions (1979-1989-1993) et selon la méthode des nuées dynamiques. La précision de la classification est estimée à 80 % pour l'ensemble des classes à partir d'une matrice de confusion qui confronte la réalité de terrain en 1995 avec les classes obtenues sur l'image de 1993.

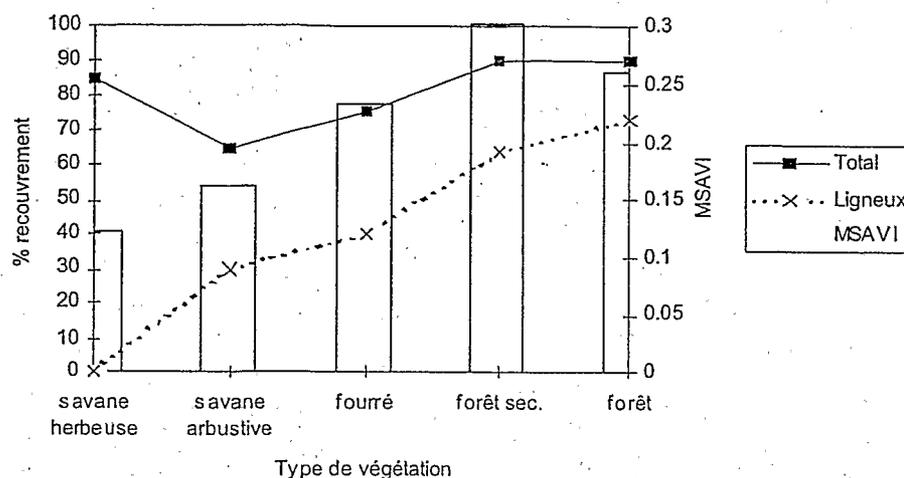


Figure 3. Indice MSAVI, pourcentage de recouvrement total et pourcentage de recouvrement ligneux, en fonction du type de végétation, sur dix stations.

3. Résultats

Les relevés de végétation et le suivi des changements par télédétection sont des informations complémentaires permettant la compréhension de la dynamique récente de la végétation. Les relevés nous renseignent sur les caractéristiques des écosystèmes végétaux tandis que la télédétection nous informe sur la spatialisation de la végétation et son évolution dans le temps. Sur la figure 23-4 (voir cahier couleur), on présente les transformations de la végétation pour les périodes 1979-1989 et 1989-1993. Les classes jaune, vert clair, beige et vert foncé traduisent des changements de végétation se situant dans les premiers stades de succession végétale. Ceci est la conséquence des feux de brousse. On observe également des sites dont les transformations sont associées à la mise en culture temporaire (classes orange et marron). Notre période d'observation étant de 14 ans, on observe que les temps de jachère sont très courts par rapport à la période de 40 à 50 ans pratiquée traditionnellement par les Yanomamis (LIZOT, 1980). Cette intensification dans l'utilisation du sol peut conduire à terme au remplacement des formations ligneuses par la savane (classe rouge). En revanche, on observe une reconstitution de la forêt secondaire sur des sites qui avaient été mis en culture auparavant (classe violette). Il est à noter que pour la forêt, aucune transformation n'a été constatée. Ceci s'explique probablement par notre courte période d'observation et parce que les champs de culture sont de préférence installés en forêt secondaire.

Le schéma du modèle de succession végétale est présenté sur la figure 5. Issu de l'interprétation de l'information structurale-floristique et de la classification multitemps, ce modèle donne les traits principaux de l'évolution de la végétation dans le secteur de Parima A. Le modèle de succession végétale a été complété à partir d'informations bibliographiques complémentaires (LESCURE *et al.*, 1989; BROWN and LUGO, 1990), dans les cas où les transformations possibles de la végétation n'étaient pas observées sur nos données (par ex. forêt).

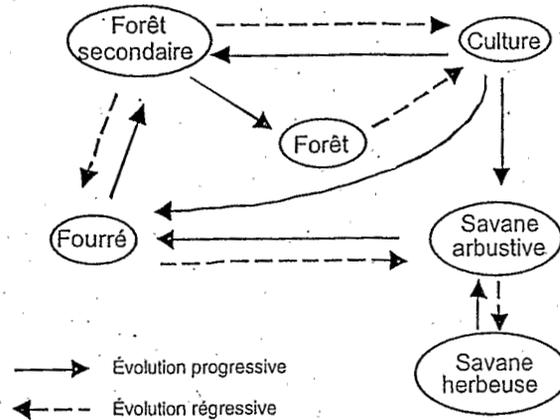


Figure 5. Modèle local de succession végétale pour le secteur de Parima A

La forêt ombrophile est la végétation « dominante » dans la région. C'est à l'intérieur de la forêt, de préférence secondaire, que les indigènes font leurs champs de culture temporaire. À cause de l'envahissement progressif par la végétation naturelle, les champs sont abandonnés et le processus de régénération s'amorce. En quelques mois la végétation a l'aspect d'un fourré dense, puis, les espèces héliophiles forment une jeune forêt secondaire. Au cours du temps, la structure de la forêt se modifie et sa richesse spécifique augmente. Lorsque la forêt secondaire est défrichée fréquemment, la régénération forestière devient difficile et les sites sont colonisés par des herbacées. Les indigènes font des feux saisonniers qui favorisent le renouvellement des graminées et empêchent le développement des ligneux. Cependant, lorsque la savane est épargnée des feux, la strate arbustive se développe et la végétation peut évoluer vers la formation d'un fourré, puis la reconstitution de la forêt.

4. Discussion et conclusion

L'intégration de données de terrain et de séries temporaires d'images satellitaires pour l'établissement de modèles de succession végétale en forêt tropicale est un sujet relativement encore peu abordé, probablement à cause de la difficulté à avoir les données. Diverses approches méthodologiques ont été développées selon les objectifs et les caractéristiques des sites d'étude (LUCAS *et al.*, 1993; FOODY *et al.*, 1996; STEININGER, 1996). La méthode que nous avons mise en place intègre sur le plan spectral, spatial et biologique, une série d'images satellitaires couvrant une période de 14 ans et un nombre limité de données terrain, collectées à une seule date. Quant à la spatialisations des transformations, la méthode proposée s'adapte bien à des régions comme la nôtre, où la taille réduite des perturbations (fig. 23-2, voir cahier couleur) rend difficile l'analyse de la dynamique de la végétation par des méthodes classiques, soit d'interprétation visuelle, soit de classification multispectrale.

La validité de la méthode développée dépend de la capacité de la télédétection à discriminer les objets ou les phénomènes auxquels on s'intéresse. Malgré leurs différences de résolution, les images MSS et de TM se sont avérées utiles pour identifier les types physiologiques de la végétation et suivre leur évolution dans le temps. De plus, la méthode semble adéquate pour comprendre les processus de succession végétale dans des régions peu étudiées. Deux aspects méritent néanmoins d'être commentés.

En ce qui concerne les données satellitaires, le suivi de successions végétales demande des périodes d'observation suffisamment longues et des images prises pendant la même saison. Une discrimination plus fine de la végétation (par ex. associations végétales) utilisant des données provenant de spectromètres imageurs pourrait être envisagée. Compte tenu de la difficulté à avoir des images optiques en région tropicale humide, il serait aussi intéressant d'explorer l'utilisation de données de type radar.

Pour les données de terrain, le protocole d'échantillonnage a permis l'identification spectrale de la végétation. Cependant, la complexité de la végétation humide tropicale fait que l'information sur la structure et la composition floristique est loin d'être représentative. Sa valeur n'est donnée qu'à titre indicatif. Lorsque les conditions logistiques sur le terrain le permettent, il est tout à fait souhaitable d'augmenter aussi bien le nombre que la taille des parcelles d'échantillonnage.

La succession végétale se traduit par la transformation progressive des communautés végétales sur les plans physiologique, structural et de la composition floristique. Une meilleure connaissance de l'impact que peuvent avoir ces transformations sur la donnée spectrale mérite d'être explorée avec des images de télédétection de meilleures résolutions spectrale et spatiale. L'assignation des pixels en termes de probabilité d'appartenance aux stades type de succession, par des classifications floues (*fuzzy*) pourrait apporter des résultats plus proches de la réalité écologique.

5. Références

- ACHARD, A., ANSSEAU, C., BEAUBIEN, J., DEFOURNY, P., JATON, A., LEMIEUX, G., ROYER, A. et THOMSON, K. 1996. La télédétection des forêts. in F. Bonn (éd.). Précis de télédétection : volume 2 : applications thématiques. Universités Francophones, Presses de l'Université du Québec/AUPELF, Sainte-Foy, p. 225-266.
- BANNARI, A., HUETE, A. R., MORIN, D. et ZAGOLSKI, F. 1996. Effets de la couleur et de la brillance du sol sur les indices de végétation. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, p. 1885-1906.
- BROWN, S. and LUGO, A. E. 1990. Tropical secondary forest. *Journal of Tropical Ecology*, n° 3, p. 1-32.
- COPPIN, P. R. and BAUER, M. E. 1996. Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. *Remote Sensing Reviews*, vol. 13, p. 207-234.
- FOODY, G. M. and HILL, A. 1996. Classification of tropical forest classes from Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, n° 12, p. 2353-2367.
- FOODY, G. M., PALUBINKAS, G., LUCAS, R. M., CURRAN, R. J. and HONZAK, M. 1996. Identifying terrestrial carbon sinks : classification of successional stages in regenerating tropical forest from Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 55, p. 205-216.
- HUBER, O., STEYERMAR, J. A., PRANCE, G. T. and ALÈS, C. 1984. The vegetation of the Sierra Parima, Venezuela-Brazil : some results of recent exploration. *Brittonia*, vol. 36, n° 2, p. 104-139.

- LESCURE, J.-P., de FORESTA, H. et RIERA, B. 1989. Concepts communs à l'analyse des processus de dynamique et de succession. *Bois et Forêts des Tropiques, Spécial Guyane*, n° 219, p. 57-60.
- LIZOT, J. 1980. La agricultura Yanomami. *Antropologica*, n° 53, p. 3-93.
- LUCAS, R. M., HONZAK, M., FOODY, G. M., CURRAN, P. J. and CORVES, C. 1993. Characterizing tropical secondary forest using multi-temporal Landsat sensor imagery. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 14, n° 16, p. 3061-3067.
- QI, J., CHEHBOUNI, A., HUETE, A. R., KERR, Y. H. and SOROOSHIAN, S. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, vol. 47, p. 1-25.
- REPETO, R. 1990. La déforestation des pays tropicaux. *Pour la science*, n° 152, p. 1-8.
- STEININGER, M. K. 1996. Tropical secondary forest regrowth in the Amazon: Age, area and change estimation with Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, n° 1, p. 9-27.

LA RÉALITÉ DE TERRAIN EN TÉLÉDÉTECTION : PRATIQUES ET MÉTHODES

Septièmes journées scientifiques
du « Réseau Télédétection » de l'AUPELF-UREF,
Sainte-Foy, 13-17 octobre 1997

COMITÉ SCIENTIFIQUE ET DE LECTURE :

- Jean-Marie Dubois (coresponsable de l'édition)
- Monique Bernier (coresponsable de l'édition)
- Jean-Pierre Fortin (coresponsable de l'édition)
- François Boivin (coresponsable de l'édition)
- Abdelkader Abdellaoui
- Régis Caloz
- François Cavayas
- Robert Desjardins
- Pierre Larouche
- Gilles Lemieux
- Keith Thomson
- Diadié Traoré
- Fernand Verger

DOCUMENTATION
MAISON DE LA TELEDETECTION
500, rue J.F. Breton
34093 MONTPELLIER CEDEX 5

Publié avec l'appui du Programme de soutien à l'information scientifique et technique
du ministère de l'Industrie, du Commerce, de la Science et de la Technologie du Québec

1998

AUPELF • UREF
B.P. 400, succ. Côte-des-Neiges
Montréal (Québec) Canada
H3S 2S7

Données de catalogage avant publication (Canada)

UREF. Réseau de télédétection. Journées scientifiques (7^{es}: 1997 :
Sainte-Foy, Québec)

La réalité de terrain en télédétection : pratiques et méthodes
(Universités francophones. Actualité scientifique)
Comprend des réf. bibliogr.

ISBN 2-920021-84-2

1. Télédétection – Congrès. 2. Images-satellite – Congrès. 3.
Systèmes d'information géographique – Congrès. 4. Satellites artificiels
en télédétection – Congrès. 5. Satellites de télédétection des ressources
terrestres – Congrès. 6. Sciences de la terre – Télédétection – Congrès. I.
Dubois, J. M. M. (Jean Marie Maurice), 1944- . II. Titre. III. Collection.

G70.39.U73 1997

621.3678

C98-941340-3

ISBN 2-920021-84-2
Tous droits de reproduction, de traduction
et d'adaptation réservés © 1998
AUPELF-UREF

Dépôt légal – 4^e trimestre 1998
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
Imprimé au Canada